

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-231956

(43)Date of publication of application : 07.09.1993

(51)Int.Cl.

G01K 11/12

G01M 11/00

G02B 6/00

(21)Application number : 04-035114

(71)Applicant : NIKKO KYODO CO LTD

(22)Date of filing : 21.02.1992

(72)Inventor : KUDO OSAMU

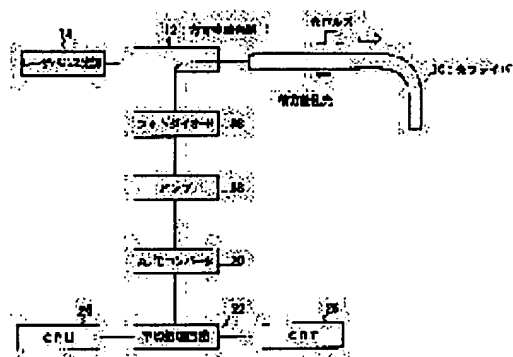
ORIGASA MASAHIRO

(54) MEASUREMENT OF TEMPERATURE DISTRIBUTION

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a method for measuring a temperature distribution which can make discrete temperature measuring positions on an optical fiber coincide with positions where temperatures are actually to be measured.

CONSTITUTION: Measurement of a temperature distribution comprises steps of making measurement light incident to an optical fiber 10, detecting discretely in time light intensity of inelastic scattering light wherein the measurement light scatters on each position of the optical fiber 10 and measuring temperatures of discrete temperature measuring positions of the optical fiber 10 based on the light intensity of the inelastic scattering light to measure a temperature distribution along the optical fiber. Then a temperature distribution of the optical fiber for holding a predetermined position of the optical fiber at a predetermined temperature is measured, an amount in position shift between the predetermined position held at the predetermined temperature and the discrete temperature measuring position is calculated based on the measured temperature distribution of the optical fiber and an assumed temperature distribution assumed with the temperature held, and based on the calculated amount in position shift, the temperature measuring position on the optical fiber 10 is corrected.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.06.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 07.04.1998

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-231956

(43)公開日 平成5年(1993)9月7日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 K 11/12	F	7267-2F		
G 0 1 M 11/00	F	8204-2G		
G 0 2 B 6/00		6920-2K	G 0 2 B 6/ 00	B

審査請求 未請求 請求項の数2(全 8 頁)

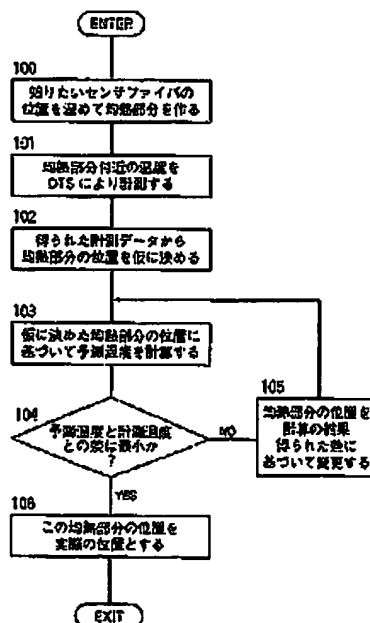
(21)出願番号	特願平4-35114	(71)出願人	000231109 株式会社日鉱共石 東京都港区虎ノ門二丁目10番1号
(22)出願日	平成4年(1992)2月21日	(72)発明者	工藤 修 東京都港区虎ノ門2丁目10番1号 日本鉱業株式会社内
		(72)発明者	折笠 政博 東京都港区虎ノ門2丁目10番1号 日本鉱業株式会社内
		(74)代理人	弁理士 北野 好人

(54)【発明の名称】 温度分布の測定方法

(57)【要約】

【目的】光ファイバ上の分散した温度測定位置を実際に温度測定したい位置に一致させることができる温度分布の測定方法を提供する。

【構成】光ファイバに測定光を入射し、測定光が光ファイバの各位置で散乱する非弾性散乱光の光強度を時間的に分散して検出し、非弾性散乱光の光強度に基づいて光ファイバの分散した温度測定位置の温度を測定することにより、光ファイバに沿った温度分布を測定する温度分布の測定方法において、光ファイバの所定位置を所定温度に保持する温度保持状態における光ファイバの温度分布を測定し、測定された光ファイバの測定温度分布と、温度保持状態において想定される想定温度分布とに基づいて、所定温度に保持した所定位置と分散した温度測定位置との位置ずれ量を演算し、演算された位置ずれ量に基づいて、光ファイバの温度測定位置を補正する。



(2)

特開平5-231956

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバに測定光を入射し、前記測定光が前記光ファイバの各位置で散乱する非弾性散乱光の光強度を時間的に離散して検出し、前記非弾性散乱光の光強度に基づいて前記光ファイバの離散した温度測定位置の温度を測定することにより、前記光ファイバに沿った温度分布を測定する温度分布の測定方法において、前記光ファイバの所定位置を所定温度に保持する温度保持状態における前記光ファイバの温度分布を測定し、測定された前記光ファイバの測定温度分布と、前記温度保持状態において想定される想定温度分布とに基づいて、前記所定温度に保持した前記所定位置と離散した前記温度測定位置との位置ずれ量を演算し、演算された前記位置ずれ量に基づいて、前記光ファイバの前記温度測定位置を補正することを特徴とする温度分布の測定方法。

【請求項2】 請求項1記載の温度分布の測定方法において、

前記光ファイバの前記非弾性散乱光の光強度を測定する測定端部の位置を前記位置ずれ量だけ調整することにより、前記光ファイバの離散した前記温度測定位置を補正することを特徴とする温度分布の測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光ファイバに入射した測定光の非弾性散乱光の光強度に基づいて光ファイバに沿った温度分布を測定する温度分布の測定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバの非弾性散乱光の温度依存性を利用して温度分布を測定する光ファイバ分布型温度計測システムが知られている。この光ファイバ分布型温度計測システムの測定原理を図1を用いて説明する。光ファイバ中に光パルスを入射すると、その光パルスに起因して光ファイバの各位置においてレイリー散乱とラマン散乱による散乱光が生ずる。このうち光ファイバ中のガラス分子の屈折率の揺らぎ等によるレイリー散乱は、図1に示すように、散乱光波長がシフトしない光散乱であり、温度が変化しても光強度が変化しない。一方、光ファイバの分子の振動、回転によるラマン散乱は、図1に示すように、散乱光波長がストークス側および反ストークス側の広い範囲にわたってシフトする光散乱であり、ラマン散乱光強度は光ファイバの温度に大きく依存する。

【0003】光ファイバに沿った温度分布を測定するために、光ファイバの光パルスの入射端におけるラマン散乱光を時間の経過にしたがって検出する。ラマン散乱光が入射端に戻ってくるまでの遅延時間から光ファイバの光散乱位置を知り、ラマン散乱光の強度から光散乱位置における温度を知り、光ファイバに沿った温度分布を測

定する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように従来の光ファイバ分布型温度計測システムでは、光ファイバ上の温度測定位置は、ラマン散乱光の遅延時間により算出されるので、ラマン散乱の光強度測定時の時間分解能により測定位置の位置精度が定まる。このため、従来の光ファイバ分布型温度計測システムの測定位置精度は、励起光パルスの時間幅、伝搬に伴う速度分散、非弾性散乱光の測定の時間分解能等により限定される。したがって、温度分布の測定位置は測定精度に応じて離散的になると共に、測定位置精度と同程度の範囲以下の急激な温度変化を測定することができない。

【0005】しかしながら、測定位置精度の範囲以下の急激な温度分布の変化を測定したい場合がある。例えば、多数の電気器具の温度変化を測定する場合には、これら電気器具に接触するように光ファイバを敷設して各電気器具の温度を同時に測定するようにする。離散した温度測定位置がそれぞれ電気器具の中心になるように光ファイバを敷設できれば、測定位置精度以下であっても原理的に温度測定が可能である。しかし、敷設した光ファイバ上の離散した温度測定位置が電気器具の位置とずれた場合には、電気器具の温度変化を測定することができないという問題があった。

【0006】本発明の目的は、光ファイバ上の離散した温度測定位置を実際に温度測定したい位置に一致させることができる温度分布の測定方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的は、光ファイバに測定光を入射し、測定光が光ファイバの各位置で散乱する非弾性散乱光の光強度を時間的に離散して検出し、非弾性散乱光の光強度に基づいて光ファイバの離散した温度測定位置の温度を測定することにより、光ファイバに沿った温度分布を測定する温度分布の測定方法において、光ファイバの所定位置を所定温度に保持する温度保持状態における光ファイバの温度分布を測定し、測定された光ファイバの測定温度分布と、温度保持状態において想定される想定温度分布とに基づいて、所定温度に保持した所定位置と離散した温度測定位置との位置ずれ量を演算し、演算された位置ずれ量に基づいて、光ファイバの温度測定位置を補正することを特徴とする温度分布の測定方法によって達成される。

【0008】本発明の温度分布の測定方法では、光ファイバの非弾性散乱光の光強度を測定する測定端部の位置を位置ずれ量だけ調整することにより、光ファイバの離散した温度測定位置を補正するようにすることが望ましい。

【0009】

【作用】本発明によれば、光ファイバの所定位置を所定

(3)

特開平5-231956

3

4

温度に保持する温度保持状態における光ファイバの温度分布を測定し、測定された光ファイバの測定温度分布と、温度保持状態において想定される想定温度分布とに基づいて、所定温度に保持した所定位置と離れた温度測定位置との位置ずれ量を演算し、演算された位置ずれ量に基づいて、光ファイバの温度測定位置を補正するようにしたので、光ファイバ上の離れた温度測定位置を実際に温度測定したい位置に一致させることができる。

【0010】また、光ファイバの非弾性散乱光の光強度を測定する測定端部の位置を位置ずれ量だけ調整することにより、光ファイバの離れた温度測定位置を補正するようにすれば、光ファイバの離れた温度測定位置を実際に温度測定したい位置に簡単に一致させることができる。

【0011】

【実施例】本発明の一実施例による光ファイバ分布型温度計測システムの温度分布の計測方法について図2乃至図10を用いて説明する。本実施例の光ファイバ分布型温度計測システムを図2に示す。ループ状に接続された温度分布測定用の光ファイバ10の測定端部には方向性結合器12が設けられ、この方向性結合器12に、測定光である光パルスを出力するレーザパルス光源14と、光ファイバ10からの非弾性散乱光を受光するフォトダイオード16が接続されている。レーザパルス光源14から出力されるパルス光は、方向性結合器12を介して測定端部から光ファイバ10に入射される。入射された光パルスに起因して光ファイバ10の各位置で散乱する非弾性散乱光は、光ファイバ10の測定端部から方向性結合器12を介してフォトダイオード16に入射される。

【0012】フォトダイオード16にはアンプ18が接続され、フォトダイオード16の受光信号を増幅する。アンプ18にはA/Dコンバータ20が接続され、アンプ18により増幅された受光信号をA/D変換する。A/Dコンバータ20には平均処理回路22が接続され、A/D変換されたデジタルの受光信号を平均化処理する。平均処理回路22にはCPU24とCRT26が接続されている。CPU24は、平均化処理された非弾性散乱光の光強度と、非弾性散乱光が光ファイバ10の測定端部に戻ってくるまでの遅延時間とに基づいて、光ファイバ10の各温度測定位置における温度分布を測定し、その測定結果をCRT26に表示するようにしている。

【0013】本実施例の光ファイバ分布型温度計測システムは、温度計測用に2kmの光ファイバ10を敷設することができ、測定温度範囲は-50℃～+150℃であって、温度測定精度は±1℃であり、距離分解能は5.0mである。温度分布の測定結果の具体例を図3に示す。図3に示す温度測定分布によれば、光ファイバ10の測定端部から約0.23km離れた測定点と約0.

36km離れた測定点に69℃前後の高温な領域があり、他の領域は25℃前後の常温であることがわかる。

【0014】本実施例の光ファイバ分布型温度計測システムは次の点を特徴としている。すなわち、測定用の光ファイバ10をループ状に接続しているため、光ファイバ10が切断しても、その切断点より先の位置での温度分布測定が可能である。また、光ファイバ10を敷設するだけで測定できるので、電磁誘導を受けることなく、高圧電線や送信所などの電氣的障害源のある所にも設置できる。さらに、温度分布の測定範囲内では電力を必要としないため、電気接点により火花が発生する等の心配がいらぬ。また、光ファイバ10が温度センサと送信信号線をかねているので、多数の測定点があっても、熱電対等の点センサを用いた場合のような多数の信号線を必要としない。

【0015】したがって、本実施例の光ファイバ分布型温度計測システムは、石油精製、製薬、化学、食品等製造プラントの温度のモニタリングや、事務所、ホテル等の空調コントロールや、ビル、トンネル等の火災警報システムや、発電機、変圧器、電線の高温度（ホットスポット）の検知や、パイプライン、道路表面の温度分布の連続計測や、火山の地熱温度測定や、コンクリート建造物内部の温度測定等の多方面にわたって用いることができる。

【0016】本実施例の光ファイバ分布型温度計測システム（Distributed Temperature Sensor、以下「DTS」という）では、図4に示すように、測定対象物A～Eを結ぶように光ファイバ10を敷設し、図5に示すように、敷設された光ファイバ10に沿った距離に対する温度分布の測定が可能である。しかし、測定対象物A～Eの温度を知るためには、測定対象物A～Eが置かれている位置が、敷設されている光ファイバ10のどの位置に対応するのかを予め求めておく必要がある。

【0017】このためには、基本的に次の2つの方法が考えられる。第1の方法は、スケール被覆付の光ファイバを用い、光ファイバに沿った距離を、光ファイバ自身のスケールによって認識することにより測定対象物の位置との対応をとる方法である。第2の方法は、測定対象物の位置に敷設されている光ファイバの一部分に、温度変化、ストレス等の散乱光を変化させるような外因を与えて、その変化が観測された測定位置を、測定対象物の位置に対応させる方法である。

【0018】これらの方法のうち、第1の方法は、敷設する光ファイバの距離が長くなると現実的ではない。すなわち、距離の長い光ファイバを敷設するためには、複数本の短い光ファイバを別々に敷設しておき、その後、これらの光ファイバを接続して1本の長い光ファイバとする。この場合には、各光ファイバの長さの誤差がそのまま全体の距離の誤差として現れるため、光ファイバの被覆に記載されたスケールが測定端部からの距離を正し

(4)

特開平5-231956

5

く表していないことになる。

【0019】また、光ファイバの屈折率に誤差があると、その屈折率の誤差が距離の誤差として影響し、光ファイバ全体の長さが長くなると積算されて、影響が大きくなるため、光ファイバの被覆に記載されたスケールを測定端部からの距離として用いることができなくなる。したがって、本実施例の温度分布の測定方法では第2の方法を基本として、測定対象物の位置と光ファイバの位置との対応を予め求めておき、光ファイバ上の離散した温度測定位置を実際に温度測定したい位置に一致させる

ようにする。
【0020】本実施例による温度分布の測定方法を、図6のフローチャートを用いて説明する。まず、温度測定用の光ファイバ10の正確な距離を知りたい位置に、距離分解能である5mよりも狭い2mに亘ってリボンヒータを巻き付けて、矩形状の均一な温度分布を形成する（ステップS100）。例えば、室温よりも約50℃高くなるように加熱する。続いて、光ファイバ分布型温度計測システムにより、矩形状の均熱温度加熱部分付近の温度分布を測定する（ステップS101）。測定された

温度分布を図7に示す。
【0021】次に、測定された温度分布から均熱部分の中心位置を仮に定め（ステップS102）、仮に定めた均熱部分の位置に基づいて予測温度分布を計算する（ステップS103）。続いて、図7に示す測定温度分布と予測温度分布との差が最小であるかを判定し（ステップS104）、その差が最小でなければ、図7に示す測定温度分布と予測温度分布との差の距離を求める。例えば、図7の場合は、測定温度分布が非対称パターンとなっており、距離0.275kmの位置の温度と、距離0.280kmの位置の温度が共に大きくなっている。これらの位置の温度差から、温度測定位置が距離分解能である5mの約1/2の距離（本実施例では2.5m）だけ位置ずれしていることが予測される。

【0022】次に、予測された位置ずれ量だけ光ファイバ10の均熱部分の位置を変更する（ステップS105）。続いて、変更した均熱部分の位置に基づいて予測温度分布を計算し（ステップS103）、測定温度分布と予測温度分布との差が最小であるかを判定する（ステップS104）。測定温度分布と予測温度分布との差が最小になるまでステップS103～S105を繰り返す。測定温度分布と予測温度分布がほぼ一致すると、そのときの均熱部分の位置を実際の位置とする（ステップS106）。

【0023】このようにして求められた均熱部分の位置に基づいて光ファイバ10の温度測定位置を補正する。本実施例では、光ファイバ10の測定端部を約2.5mだけ切断して、測定端部からの均熱部分の位置を変更する。このようにして光ファイバ10の温度測定位置を補正した後に、光ファイバ分布型温度計測システムにより

6

矩形状の均熱温度加熱部分付近の温度分布を測定した。測定結果を図8に示す。測定温度分布が完全な対称パターンになっており、温度測定位置と均熱温度加熱部分の位置ずれがほとんどないことがわかる。

【0024】測定温度分布から温度測定位置の位置ずれ量を求める演算方法の基本原理解を説明する。光ファイバ分布型温度計測システムにおける各測定点の測定温度は、その測定点を中心とした距離分解能分のファイバ長の平均化された温度になる。また、各測定点は、前述したように、光ファイバに沿って連続的に存在するわけではなく、A/Dコンバータ20のサンプリング周期によって定まる測定点間隔で並んでいる。本実施例の基本原理解はこの点を前提としている。

【0025】本実施例の基本原理解では、光ファイバに沿った温度の重み関数を図9に示す正規分布の形をしているものとしている。図9において、座標Xは光ファイバに沿った長さ方向の位置を示し、図9のグラフは測定点がX=0にある場合の重みを表わしている。図9の標準偏差は光ファイバ分布型温度計測システムの距離分解能と関係付けられている。

【0026】光ファイバに沿った矩形状の均熱温度分布の中心に測定点がある場合の予測温度分布を図10に示す。均熱温度分布を実線で示し、測定温度分布を破線で示す。均熱温度分布に比べて測定温度分布はブロードになる。測定点が均熱温度分布の中心からずれた場合も同様にして予測温度分布を演算することができ、測定温度分布と比較することにより、均熱温度分布の中心からの測定点の位置ずれ量を求める。

【0027】このように本実施例の温度分布の測定方法によれば、光ファイバの所定位置を矩形形状の均熱温度分布になるように加熱した状態で光ファイバの温度分布を測定し、測定された光ファイバの測定温度分布と、加熱状態において想定される想定温度分布とに基づいて、加熱した所定位置と離散した温度測定位置との位置ずれ量を演算し、演算された位置ずれ量に基づいて、光ファイバの温度測定位置を補正するようにしたので、光ファイバ上の離散した温度測定位置を実際に温度測定したい位置に一致させることができる。

【0028】しかも、光ファイバの測定端部を切断することにより温度測定位置を補正するようにしたので、極めて簡単に温度測定位置の補正が可能である。本発明は上記実施例に限らず種々の変形が可能である。上記実施例では、光ファイバの非弾性散乱光の光強度を測定する測定端部の位置を位置ずれ量だけ調整することにより、光ファイバの離散した温度測定位置を補正しようとしたが、A/Dコンバータのサンプリングタイミングを調整して温度測定位置を補正するようにしてもよい。

【0029】

【発明の効果】本発明によれば、光ファイバの所定位置を所定温度に保持する温度保持状態における光ファイバ

(5)

特開平5-231956

7

8

の温度分布を測定し、測定された光ファイバの測定温度分布と、温度保持状態において想定される想定温度分布とに基づいて、所定温度に保持した所定位置と分散した温度測定位置との位置ずれ量を演算し、演算された位置ずれ量に基づいて、光ファイバの温度測定位置を補正するようにしたので、光ファイバ上の分散した温度測定位置を実際に温度測定したい任意の位置に一致させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】光ファイバ分布型温度計測システムの測定原理を示すグラフである。

【図2】本発明の一実施例による光ファイバ分布型温度計測システムを示すブロック図である。

【図3】本発明の一実施例による光ファイバ分布型温度計測システムの温度分布の測定結果の具体例を示すグラフである。

【図4】本発明の一実施例による光ファイバ分布型温度計測システムの光ファイバの敷設状態を示す図である。

【図5】図4に示す敷設状態における光ファイバ分布型温度計測システムの温度分布の測定結果を示すグラフである。

*【図6】本発明の一実施例による温度分布の測定方法を示すフローチャートである。

【図7】矩形状の均熱温度加熱部分付近の温度分布の測定結果を示すグラフである。

【図8】光ファイバの温度測定位置を補正した後の均熱温度加熱部分付近の温度分布の測定結果を示すグラフである。

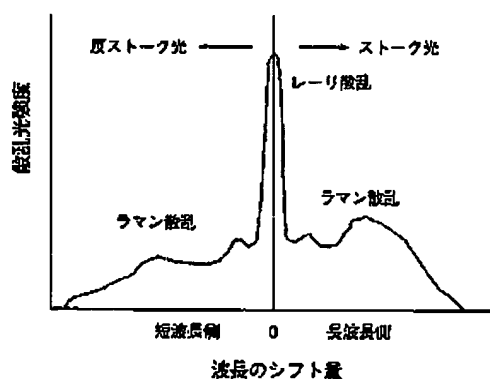
【図9】光ファイバに沿った温度の重み関数を示すグラフである。

【図10】矩形状の均熱温度分布の中心に測定点がある場合の予測温度分布を示すグラフである。

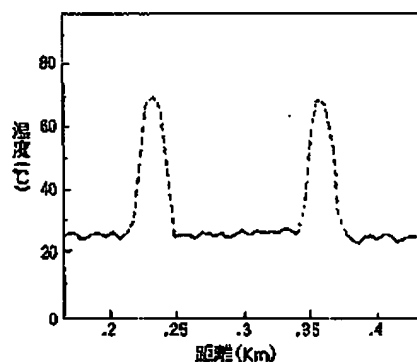
【符号の説明】

- 10…光ファイバ
- 12…方向性結合器
- 14…レーザパルス光源
- 16…フォトダイオード
- 18…アンプ
- 20…A/Dコンバータ
- 22…平均処理回路
- 24…CPU
- 26…CRT

【図1】



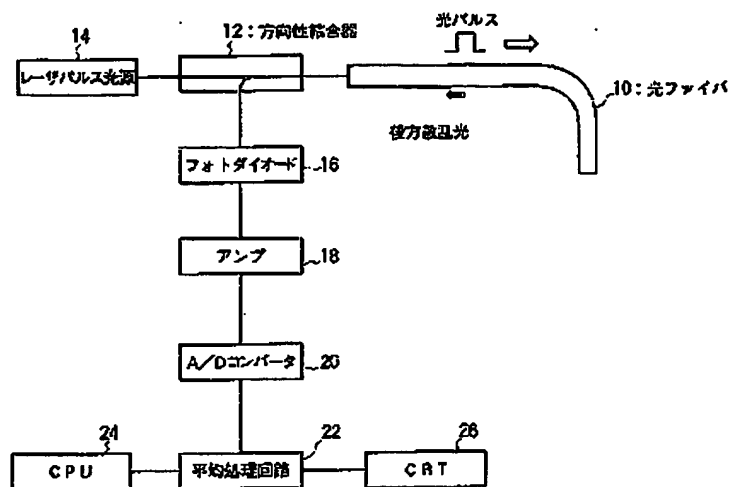
【図3】



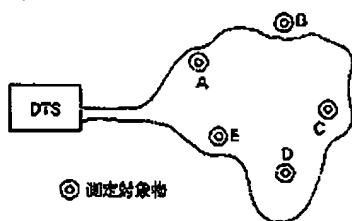
(6)

特開平5-231956

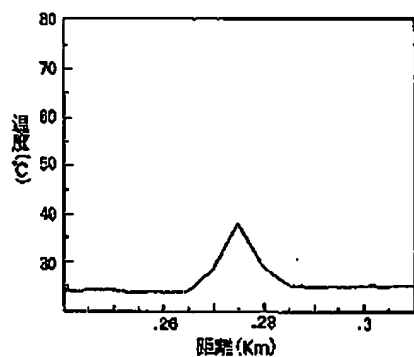
【図2】



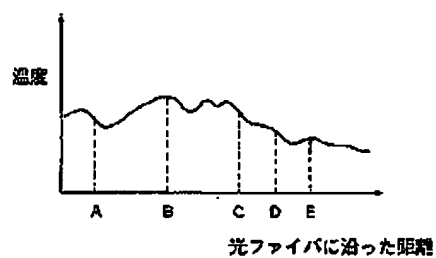
【図4】



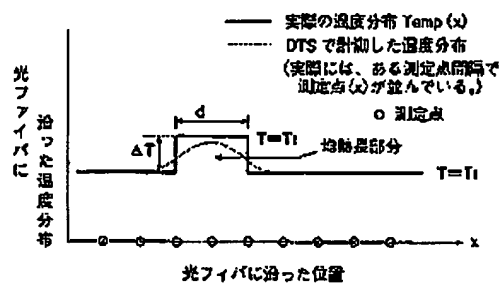
【図8】



【図5】



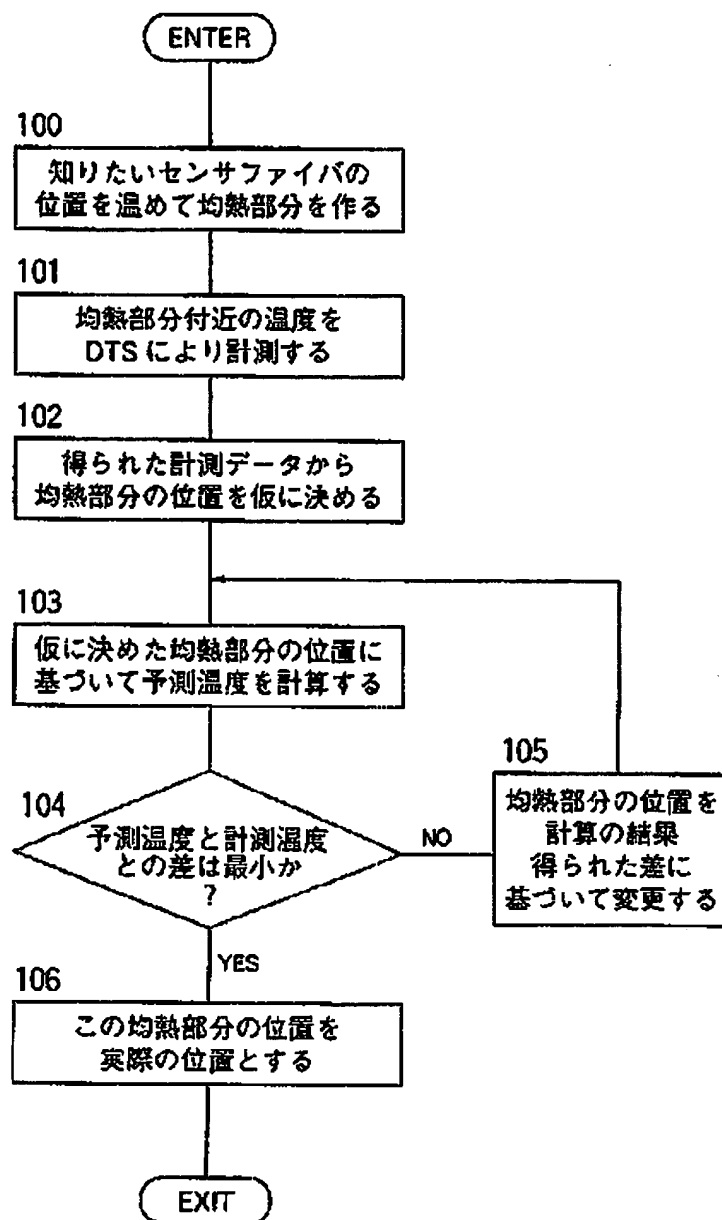
【図10】



(7)

特開平5-231956

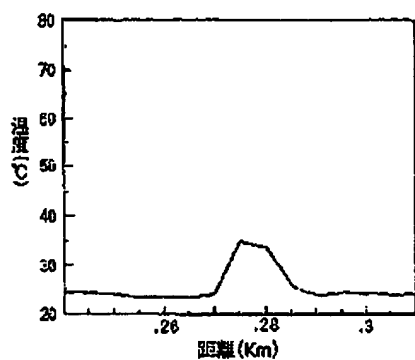
【図6】



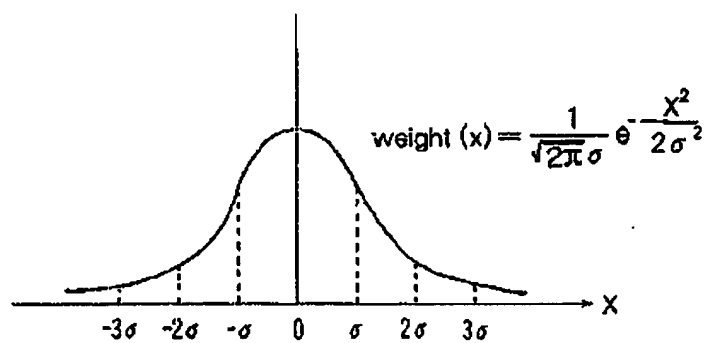
(8)

特開平5-231956

【図7】



【図9】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.